

SCHRIFTENREIHE ERNST-ABBE-KOLLOQUIUM JENA

Herausgeber: Ernst-Abbe-Stiftung

Vorsitzender des Vorstandes: Dr. Harald Dörig

Beauftragter des Herausgebers: Prof. Dr. Ernst Schmutzer, Jena

SCHRIFTENREIHE

ERNST-ABBE-KOLLOQUIUM JENA

Heft 7

Prof. Dr. Eugen Seibold

Naturkatastrophen
und ihre Vorhersage

© Copyright by **UNIVERSITÄTSVERLAG**
DRUCKHAUS-MAYER GmbH **JENA**

1. Auflage 1994

Schriftenreihe der Ernst-Abbe-Stiftung Jena - Heft 7

ISBN 3-925978-31-3

Herstellung: Druckhaus Mayer

Gestaltung: Satzstudio Universitäts-Verlag Jena, Mittelstraße 1 a

Schrift: Triumvirate Light

Prof. Dr. Eugen Seibold	
Naturkatastrophen und ihre Vorhersage	7
(4. 5. 1994)	

Abstract

Wir haben in den letzten Jahrzehnten gelernt, die Ursachen und die grobe regionale Verbreitung von Erdbeben, Vulkanausbrüchen oder Massenbewegungen an Berghängen zu verstehen. Wo, wann und mit welcher Stärke diese im wesentlichen lokalen Ereignisse eintreten, ist uns aber noch weithin unbekannt. Es kann zwar von Fortschritten bei deren Vorhersage berichtet werden, doch bleibt trotzdem die Vorsorge wichtiger.

Naturkatastrophen und ihre Vorhersage

Zusammenfassung

Wir haben in den letzten Jahrzehnten gelernt, die Ursachen und die regionale Verbreitung von Erdbeben, Vulkanausbrüchen und Massenbewegungen an Berghängen in groben Zügen zu verstehen. Wo, wann und mit welcher Stärke diese im wesentlichen lokalen Ereignissen eintreten, ist uns aber noch weithin unbekannt. Es kann zwar von Fortschritten bei deren Vorhersage berichtet werden, doch bleibt trotzdem die Vorsorge wichtiger.

Vorhersagen wurden in empirisch gesehener Wissenschaft als entscheidender Test für die Richtigkeit ihrer Vorstellungen aufgefaßt. An ein besonders eindrucksvolles Beispiel wurden wir durch die intensive Erforschung des Halleyschen Kometen im Jahr 1986 erinnert. Edmund Halley (1656 - 1727) war mit Isaac Newton (1643 - 1727) befreundet und hatte dessen Gravitationsgesetz schon vor der Veröffentlichung im Jahre 1687 in den PRINCIPIA MATHEMATICA gekannt. Er sah danach die Parabel der Bahn des Kometen als Teil einer weit ausgezogenen Ellipse an und berechnete die Umlaufzeit auf rund 75 Jahre. Er sah zurück auf den Kometen, den Kepler 1607 beschrieben hatte, und auf die Beobachtungen von Apianus in Ingolstadt vom Jahr 1531. So wagte er die Voraussage der Wiederkehr des Kometen, der heute seinen Namen trägt, für das Jahr 1758. Der französische Astronom Alexis-Claude Clairaut (1713 - 1756) verbesserte die Bahnberechnungen, indem er den gravitativen Einfluß der Planeten einbezog und sagte die Wiederkehr für 1759 voraus, was dann auch eintraf.

Dies alles war eine glänzende Bestätigung der Himmelsmechanik, mit der also die Bewegungen der Himmelskörper berechnet werden konnten. Bis dahin beruhten Vorhersagen nur auf der Extrapolation von Beobachtungsreihen - seit dem Altertum ja so wichtig für die Astrologie, mit deren Hilfe auch die Herrscher ihre übernatürlichen Fähigkeiten und Beziehungen demonstrieren konnten. Das Beispiel zeigt aber auch die zunehmenden Verfeinerungen der Berechnungen und

damit der Genauigkeit der Vorhersagen, hier etwa durch den Einbezug der Wechselwirkungen mit anderen Himmelskörpern.

In den PRINCIPIA erklärte Newton auch die Gezeiten der Ozeane als Auswirkung der jeweiligen Stellung von Mond und Sonne, damit auch die Spring- und Nipptiden, und bis auf den heutigen Tag ist der wirtschaftlich so wichtige Tidenkalender eines der besten Beispiele für exakte Voraussagen.

Schließlich kann man mit der Himmelsmechanik auch die Präzession der Tag- und Nachtgleiche erklären. Dabei ergibt sich ein Zyklus von rund 21 000 Jahren. Und diese werden heute, zusammen mit länger dauernden periodischen Änderungen der Erdbahnelemente (Milutin Milankovitch, 1920) aus paläoklimatologischen Daten zumindest für die letzten 500 000 Jahre, nach anderen Autoren auch Jahrtausenden zurück herausgelesen. Die Resultate reizen dazu, auch in die Zukunft zu blicken. Kometen - Gezeiten - Klimazyklen bieten damit eine Reihe von Vorhersagemöglichkeiten, von freilich steigender Komplexität. Und die im Folgenden behandelten Beispiele werden zeigen, wie komplex die Verhältnisse sind, mit denen sich die Versuche erdwissenschaftlicher Vorhersagen befassen. Angesichts der Probleme, die auf die Menschheit vor allem durch den Bevölkerungszuwachs zukommen, müssen aber solche Versuche gewagt werden, und dies gerade von den Geologen. Sie sind im Grunde dazu erzogen, zurückzublicken, denn die Erdgeschichte ist ihre Kernfrage. Um die Erdgeschichte aber besser zu verstehen, müssen auch die heute ablaufenden Prozesse studiert werden, beispielsweise die derzeitige Heraushebung von Gebirgen, das Absinken von Becken, die Aktivität von Vulkanen oder Gletschern, die Auswirkung von Meeresströmungen für den Boden, für die Organismen im Wasser oder für das Klima. Wer sich also bemüht, die Vergangenheit der Erde aufzuklären und die Prozesse der Gegenwart zu verstehen, wächst heute zunehmend in die Verpflichtung hinein, auch an die nähere und weitere Zukunft zu denken.

Da ist zunächst die Vorhersage von Ereignissen wie Erdbeben oder Vulkanausbrüchen. Diese Katastrophen fordern auch heute noch Tausende von Menschenleben. In einem einzigen Jahr, 1976, starben durch Erdbeben in China mehr als 250 000, in Guatemala 24 000 und in Italien 900 Menschen. Durch einen noch nicht einmal besonders starken Vulkanausbruch kamen 1985 in Kolumbien über 22 000 Menschen um. Zu solchen Katastrophen kommt es im wesentlichen in

schmalen Zonen, den Grenzen von Lithosphärenplatten, die sich gegeneinander bewegen (Abb. 1). Im Großen, also statistisch gesehen, sind diese Katastrophen zu lokalisieren und auch zu erklären. Im einzelnen aber ist es bisher selten gelungen, solche Ereignisse nach Ort, Zeit oder Stärke vorauszusagen, da ja Erdbeben und jeder Vulkan ein »Individuum« mit jeweiligen spezifischen Eigenschaften ist. Ähnliches gilt für Hangrutschungen oder Bergstürze, deren generelle morphologische und klimatologische Bedingtheit wohlbekannt ist. Schließlich hat sich die Vermutung verdichtet, daß sich die letzten Kaltzeiten des Pleistozäns seit einer halben Jahrmillion alle rund 100 000 Jahre wiederholen, woraus sich eine Kurve ergibt, die sich indessen aus zahlreichen kleineren Klimaschwankungen zusammensetzt, was kurzfristige Vorhersagen zumindestig bisher unmöglich macht. Zudem wird dabei der Mensch zunehmend zum geologischen Faktor, eine sehr erhebliche Erschwerung dieser Aufgabe.

Noch direkter kommt der Mensch ins Spiel, wenn die Lebensdauer von Rohstoffen vorhergesagt werden soll. Wirtschaftliches Auf und Ab, neue technische Verfahren für den Abbau, den Ersatz oder die Wiederverwendung von Rohstoffen, aber auch neue Methoden zur Aufindung solcher Rohstoffe stehen in dauernder Wechselwirkung. Es ist aber heute noch außerordentlich schwer, verläßliche Zahlen für *globale* Vorräte anzugeben, obwohl viele Methoden zur Verfügung stehen, eine *individuelle* Lagerstätte etwa für Erdöl, Kohle, Erze oder das Grundwasser auf Vorräte hin zu beurteilen. Dies ist ja die tägliche Aufgabe für den angewandten Geologen.

Klarheit im Ganzen, Unsicherheit im Einzelnen herrscht daher bei der Vorhersage der erwähnten Katastrophen. Umgekehrtes gilt für die Lagerstätten, was aber in diesem Beitrag nicht weiter behandelt werden soll.

Eine zusätzliche Schwierigkeit ist der Zeitmaßstab für Vorhersagen. Normalerweise denken wir allenfalls an unsere Enkel, also an die nächsten 50 Jahre. Nur in Ausnahmefällen aber kann der Geologe bisher seine zeitliche Auflösung so weit verfeinern, daß er lineare, zyklische oder periodische Prozesse im Rahmen von Jahrhunderten oder gar Jahrzehnten beurteilen kann. Zunehmend bedarf er hierfür des Studiums von Jahreslagen in Seen und im Meer, im Eis oder in dessen Schmelzwasserablagerungen. Zunehmend auch der Hilfe der Archäologen oder Historiker, wenn es um lange Beobachtungszeitreihen

geht, etwa im Mittelmeerraum oder gar im besonders aussagefähigen China. Hochwässer, Erdbeben, Vulkanausbrüche können dabei, auch auf Vorhersagemöglichkeiten hin, untersucht werden.

Erdbeben

Neben Kriegen und Epidemien haben wohl die Erdbeben die meisten Opfer an Menschenleben gefordert: Primär durch Erschütterungen und Schäden an Gebäuden oder Verkehrseinrichtungen, sekundär durch Hangrutsche, Bergstürze, Schlammströme, Tsunamis von See her oder Überflutungen von Land her und durch Feuersbrünste. Die Berichte vom Beben von Lissabon im Jahr 1755 dokumentieren dieses katastrophale Geflecht noch immer besonders eindrucksvoll.

Lissabon markiert zusammen mit den Beben in Kalabrien, in Griechenland, in der Türkei, im Iran oder in Assam eine Zone, die von den Azoren bis nach Indonesien reicht (Abb. 2 a). Es ist die Front, an der die Afrikanischen und Indoaustralischen Lithosphärenplatten sich mit Geschwindigkeiten von einigen cm/Jahr an und unter die Eurasiatische Platte schieben (Abb. 2 b). Diese Bewegungen verursachen auch die Vulkantätigkeit dieser Region, vom Vesuv, Stromboli und Ätna bis zum Krakatau und nach Java hinein. Rings um den Pazifik taucht die Pazifische Platte unter die angrenzenden, die Eurasiatische, Indo-Australische und Amerikanische. Das erklärt Beben wie die von Tokio, San Francisco, in Chile und Peru oder zuletzt 1972 das Beben von Managua in Nicaragua und 1985 in Mexico City. Und auch hierzu gesellen sich Namen von jüngsten Vulkankatastrophen wie vom Mount S. Helens im US-Staat Washington 1980, vom El Chichon in Mexiko 1982 oder vom Nevada de Ruiz in Kolumbien 1985.

Bei diesen *Interplatten*-Beben und -Eruptionen verstehen wir heute, warum und wo sie entstehen: Die Plattengrenzen sind generelle Risikozonen. Viele Probleme sind dagegen noch offen für *Intraplatten*-phänomene, etwa die Erdbeben im östlichen und zentralen Nordamerika, in China, aber auch in Westeuropa (Abb. 3 und 4) oder der Vulkanismus an der Kamerunlinie. Darüberhinaus ist noch viel Grundsätzliches ungeklärt, vom möglichen Einfluß von Schwankungen der Erdrotation im allgemeinen bis zu den Auswirkungen des Drucks von Flüssigkeiten im Gestein oder der lokalen Geometrie von Brüchen im besonderen.

Wie gesagt, fehlt uns noch ein Instrumentarium, um Beben im einzelnen nach Zeit, Ort und Stärke exakt vorauszusagen. Es gibt gelegentlich Erfolge wie bei der Vorhersage des Bebens von Haicheng in China am 7. 3. 1975, das die Stadt zu 90% zerstörte, aber wegen genauer Vorwarnung nur wenige Opfer forderte (Abb. 5). Doch nur wenig später, am 7. 8. 1976 tötete das Tangshan-Beben über 250 000 Menschen, da es »aus heiterem Himmel«, ohne Vorwarnung erfolgte. Und dies trotz enormer chinesischer Anstrengungen, die seit 1971 die Aktivitäten von 8 großen Instituten und damit 15 000 Mitarbeitern vereinigen.

Was tun? Zunächst müssen neben der Grundlagenforschung die *langfristigen Aspekte* der Vorhersage verbessert werden. Dazu gehören das Erstellen von Karten mit der Zonierung der Erdbebenrisiken anhand historischer und seismologischer Aufzeichnungen (Abb. 6), die Auswertung von Schäden, das weltweite und regionale Studium aktiver Brüche mit Messungen von Verschiebungen, der Streßverteilung und anderer geophysikalischer Parameter. Zunehmend wichtig wird das Erstellen von zeitlichen und räumlichen Erdbebenkatalogen aus historischen Quellen oder geologischen Befunden, wozu ^{14}C -oder sonst datierte horizontale Verschiebungen, etwa von Wasserläufen, oder vertikale, etwa von Torfhorizonten, gehören. Je länger z. B. im Bereich eines großen Bruchs eine zeitliche Lücke bei langfristig ermittelter Periodizität starker Beben wird, desto wahrscheinlicher nähert sich das nächste. Dasselbe gilt für den räumlichen Bereich zwischen aktiven Bebenherden an einer Störung (»time and space gaps«) (Abb. 7 und 8). Doch dies alles gibt nur statistische Aussagen und jeder sorgt sich um die nächste Erdbebenkatastrophe an der Kalifornischen San Andreas-Störung, ohne sie bisher exakt *kurzfristig* voraussagen zu können.

Deshalb die Vielzahl der hierfür einschlägigen Bemühungen auch in sonst anfälligen Regionen wie Japan (und China): Errichten eines kontinuierlich und automatisch arbeitenden Netzes seismologischer Stationen, die auch Änderungen im magnetischen oder elektrischen Gesteinsverhalten aufzeichnen. Alle Daten werden zentral erfaßt und gespeichert, um mögliche Änderungen vor einem großen Beben zu untersuchen und bei Vorbeben eventuell warnen zu können. Doch anscheinend treten nicht immer Vorbeben auf. An kritischen Stellen können zusätzlich Veränderungen in der Morphologie geodätisch, der Schwere gravimetrisch, des Grundwassers direkt oder geochemisch

gemessen werden. Spannungszustände und deren Änderungen können in Bohrlöchern ermittelt werden. Doch nur selten kann bisher der dafür notwendige Aufwand bestritten werden und nur als Ausnahmen trafen bisher auch nur *relativ* kurzfristige Vorhersagen ein.

Gleich wichtig aber sind die Anstrengungen der Geologen, Planern und Ingenieuren Rat zu geben, wo innerhalb der seismischen Risikozonen extrem gefährliche »Mikrozonen« für Bauten, Verkehrseinrichtungen oder gar für Kernkraftwerke, chemische Fabriken, Krankenhäuser o. ä. gemieden werden sollten:

Rutschgefährdete Stellen – weicher Untergrund, der zudem durch seismisch angeregte Eigenschwingungen wie in Mexico City (19. 9. 1985) katastrophal reagieren kann – wassergesättigter Sand, der bei Erschütterungen auseinanderfließen kann, eine besondere Gefährdung in den Küstenebenen oder dem Meer abgerungene Flächen in Japan – unterschiedlich fester Baugrund auf kleinen Flächen. Auch bei der Erstellung seismischer Codes für Bauwerke selbst kann gelegentlich der Geologe dem Ingenieur helfen.

Vulkane

Vulkane verursachen Schäden durch Lavaströme, was am Ätna laufend zu sehen ist (Abb. 9), durch besonders gefährliche, da rasend schnelle (über 500 km/h) Glutwolken pyroklastischen Materials (Abb. 10 a, b), wie 1902 am Mt Pelee auf Martinique, durch weitverbreitete Aschenfälle oder durch Exhalation von Gasen, wie zuletzt am Nyos-Kratersee in Kamerun (1986). Erdstöße, Schlammströme durch die mit Eruptionen oft verbundenen Wolkenbrüche, wie 79 n. Chr. bei Herculaneum am Vesuv oder Tsunamis, die beim Krakatau-Ausbruch 1883 den Meeresspiegel in Buchten bis 36 m höher trieben, können dazu kommen. Man schätzt daher, daß in den letzten 400 Jahren fast 300 000 Menschen durch solche Einwirkungen ihr Leben verloren haben. Wiederum ist das globale Bild der Verbreitung bekannt: Seit 1700 ereigneten sich 26 Katastrophen, die mehr als 100 Opfer forderten, und 23 davon fielen in den Zirkumpazifischen Raum.

Und wiederum ist es schwierig, kurzfristig vorherzusagen. Trotzdem ist es leichter als bei den Erdbeben. Zunächst ist die Lokalisierung möglicher Ausbrüche auf die ja bekannten rund 500 aktiven Vulkane hin eher gegeben. 100 davon werden als »Hochrisikofälle« angesehen. Dazu gehören bzw. kommen die »schlafenden« Typen, die als

erloschen gelten und besiedelt werden, also bei neuerlicher Eruption umso mehr Schaden anrichten. Diese beginnt ja meist mit Explosionen, Aschenregen u. ä., wie es schon vom antiken Ausbruch des Vesuvs her bekannt ist.

Die zeitliche Einordnung derartiger Aktivitäten ist geologisch gesehen gleichfalls einfacher als bei Erdbeben: Aschenlagen (Abb. 10 d) und Lavaströme können geochemisch neuerdings gut charakterisiert und damit auseinandergehalten werden. Sie werden dann wie andere Sedimente datiert.

Schließlich warnen Vorphasen sehr viel deutlicher und direkter als bei Erdbeben: Von Satelliten aus, etwa vom Landsat 5, können Temperaturanomalien auch von entlegenen Vulkanen registriert werden. Dies kann natürlich auch durch Messungen am Boden oder bei auffallendem Abschmelzen von Eis und Schnee direkt beobachtet werden. Hebungen und Senkungen deuten auf Unruhe im Magmaherd unter dem Vulkan hin und werden geodätisch festgestellt, wie derzeit laufend bei Pozzuoli in den Phlegräischen Feldern. Erhöhte seismische Aktivität (Abb. 11) im Bereich verdächtiger Vulkane scheint noch problematisch zu sein. Zusätzlich werden gravimetrische und magnetische Messungen oder Gasanalysen zum Erkennen eventueller Veränderungen herangezogen.

Vulkane sind Individuen, weshalb Erfahrungen von Laboratorien vor Ort besonders wichtig für Vorhersagen sind (Abb. 10 c). In langen Jahren lernte man z. B. dem Vesuv oder Kilauea den Puls zu fühlen und kann rechtzeitig warnen, wie auch am Mount S. Helens (Washington). Ab März 1980 wurde auf solche Warnungen hin das Gebiet evakuiert, so daß der Ausbruch am 18. 5. 1980, der bis 28 km Entfernung große Verwüstungen anrichtete, »nur« 57 Menschen töten konnte. Trotz Vorwarnungen bis zu einem Jahr vor dem Ausbruch des Nevado del Ruiz, dem nördlichsten aktiven Vulkan der Anden, am 13. 11. 1985, kamen aber dort über 22 000 Menschen um, weil keine geeigneten Maßnahmen ergriffen wurden. Doch umgekehrt: Für 1976 war auf Guadeloupe vor der »Soufrière« gewarnt worden, die schon 1902 über 1500 Opfer gefordert hatte. Planmäßig wurden 72 000 Menschen evakuiert. Sie kamen nach einem Vierteljahr zurück, da die Eruption ausblieb.

So wird auch hier demonstriert, wie viel noch zu lernen ist. Trotz des individuellen Charakters der Vulkane auch durch besseres Verständnis der generellen vulkanischen Prozesse oder durch genauere

Analysen bisheriger Ausbrüche. Und auch hier kann Planung Schäden mindern helfen. Risikokarten sind dabei eine Hilfe (Abb. 12 und 13).

Rutschungen und Bergstürze

Katastrophale Massenbewegungen an Hängen oder Felsen werden vor allem durch hohe Regenfälle ausgelöst. Sie erhöhen das Gewicht und setzen gleichzeitig die innere Reibung des Gesteinsmaterials herab (Abb. 14). Auslösend können aber auch Erdbeben oder Vulkanausbrüche und schließlich der Mensch selbst wirken. Steinbrüche wurden 1618 im Bergell soweit vorgetrieben, daß durch einen Bergsturz 2500 Einwohner der Stadt Plurs zu Tode kamen und dasselbe Schicksal erlitten 1881 über 100 Menschen durch den Bergsturz von Elm, hier durch Vortrieb des Schieferabbaus.

Gefährlich sind daher nasse Sommer im Bergland, wie 1987 im Veltin, oder Wolkenbrüche wie im Hinterland von San Francisco im Frühjahr 1986 (Abb. 15). Im übrigen müssen neben diesen allgemeinen Zusammenhängen der Böschungsstabilität eine Fülle von regionalen (Klima, Vegetation) und lokalen Bedingungen berücksichtigt werden (Topographie, Gesteinstyp und -lagerung) (Abb. 16, 17 b). Vorhersagen werden immer wichtiger, da in vielen Städten durch Mangel an Baugrund immer mehr Hänge bebaut wurden. Hongkong ist wohl das eindrucksvollste Beispiel.

Warnungen vor Rutschungen u. ä. sind Bodenrisse, die sich verbreitern, das Absacken von Geländeteilen, Lösen von Steinen, Zerreißen von Baumwurzeln, oft unter Knall, oder neuerdings Langzeit-Beobachtungen von Geländebewegungen mit geodätischen Methoden, wie in einem Überwachungsnetz von 20 x 5 km an der Schwarzmeerküste nördlich Varna (Universität Hannover, seit 1976). Wo Wolkenbrüche Rutschungen auslösen, kann man aus Vorhersagen dieser Regenfälle Warnungen ausgeben. Das bisher wohl interessanteste Beispiel ist aus Abb. 15 zu entnehmen.

Auch hier muß der Geologe vor der Katastrophe, also nicht nur durch kurzfristige Warnung, aktiv werden. Spezielle Karten müssen anhand von alten Rutschungen oder generellen Überlegungen Risikogebiete ausgrenzen (Abb. 18). Für vorbeugende bauliche Maßnahmen (Abb. 19, 17 c, d), Drainagen oder Bepflanzung kann er Rat geben.

Schluß

Die Geologie, vor allem die Angewandte, sah sich bisher weitgehend in einer aktiven, ja offensiven Rolle. Sie ging ihre Aufgaben, Entdeckung von Öl, Gas, Kohle, Erzen oder Grundwasserreserven mit Optimismus und großen Erfolgen an. Dies muß auch so bleiben.

Zunehmend drängen aber sich dabei Umweltfragen für die nähere und weitere Umgebung solcher Lagerstätten auf. Sie fordern Defensiv-Forschung, so wie bei zunehmender Verdichtung der Bevölkerung auch Defensiv-Forschung zum Abwehren von Naturkatastrophen notwendig ist (Abb. 20).

Da noch viele Aspekte dieser Forschungsansätze unsicher sind und sich die Menschheit offenbar, zumindest in den Industriestaaten in der Gegenwart mehr Risiken als in der Vergangenheit ausgesetzt und noch größere auf sich zukommen sieht, steckt auch diese Art der Forschung voller Risiken. Noch am Ende des 18. Jahrhunderts hat man das Vulkanische Feuer unter dem Vesuv für eine Art Höllenfeuer zur Warnung sündiger Menschen gehalten. Erdbeben oder Sturmfluten wurden allgemein als Strafgerichte für deren Übeltaten angesehen. Das Schicksal, dem man nicht entrinnen kann, trat später an die Stelle Gottes. Doch zunehmend wird dieses »defatalisiert« (Pierre Joseph Proudhon) und wird die Wissenschaft dafür verantwortlich gemacht werden, wenn nicht rechtzeitig gewarnt worden ist oder wenn beim Ausbleiben eines vorhergesagten Erdbebens oder Vulkanausbruchs finanzielle Einbußen beklagt werden müssen. Auch aus diesem Grund soll dieser Beitrag auf die Möglichkeiten, vor allem aber auf die derzeitigen Grenzen erdwissenschaftlicher Vorhersagen hinweisen.

Abbildungsteil

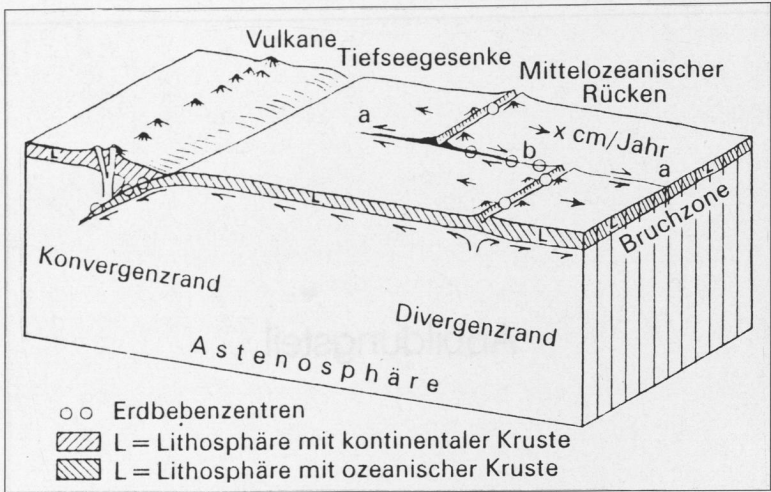
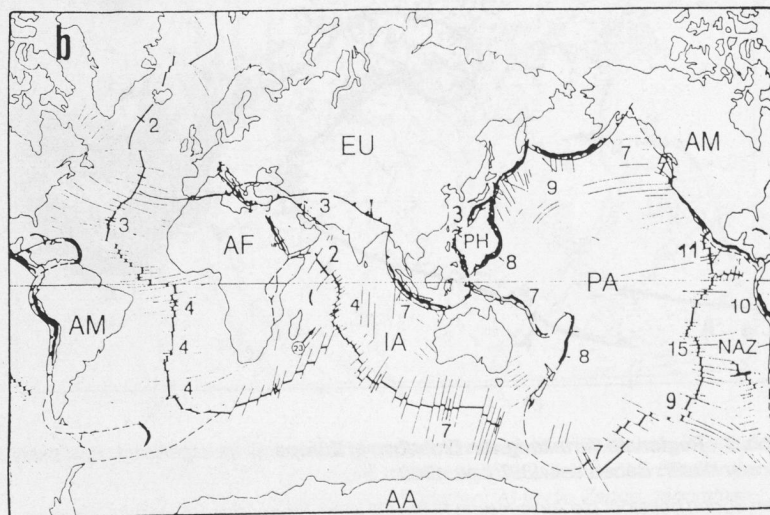
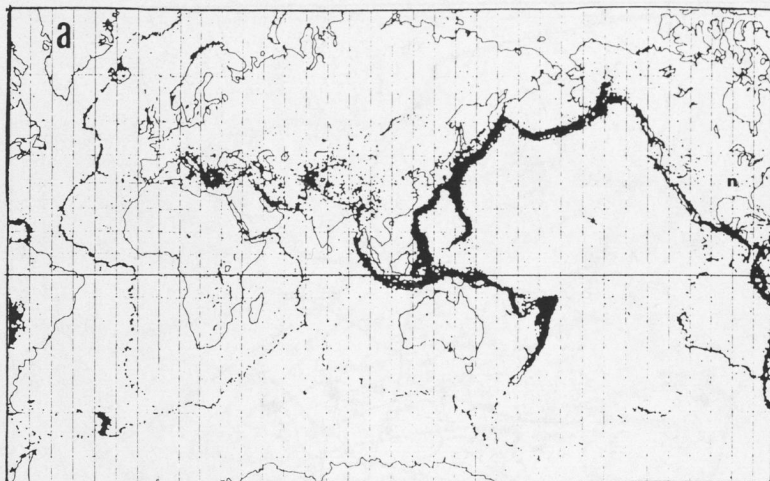


Abb. 1 Schema zur Plattentektonik. Durch divergierende Konvektionsströmungen des glutflüssigen Magmas in der Asthenosphäre des oberen Erdmantels wird unter den mittelozeanischen Rücken die dort erstarrende ozeanische Kruste auseinandergerissen. Das hat - flache - Erdbeben und vulkanische Aktivität zur Folge. Zusätzlich können an aktiven Querstörungen im Rückenbereich weitere Beben auftreten. Wo Platten, wie hier, mit ozeanischer Kruste unter solche mit kontinentaler Kruste abtauchen, d. h. an den sogenannten Konvergenzrändern, kommt es auch zu Tiefherdbeben und zu weitverbreiteter und oft explosiver vulkanischer Tätigkeit.



— a) — c) — e)

Abb. 2 Plattentektonik und Erdbeben. a) Die Beben konzentrieren sich an den Plattenrändern der Abb. 2 b als Interplattenbeben. Es können aber auch schwere Beben innerhalb der Platten auftreten (Intraplattenbeben). Das ist besonders deutlich in China und im Herzen Nordamerikas (n) zu sehen. Eingetragen sind Beben mit Herdtiefen von weniger als 700 km zwischen 1961 und 1967. b) Die wichtigsten Lithosphärenplatten der Erde mit Konvergenzrändern (a und c) und Divergenzrändern (e). Die Platten bewegen sich bis 15 cm/Jahr auseinander (Zahlen).

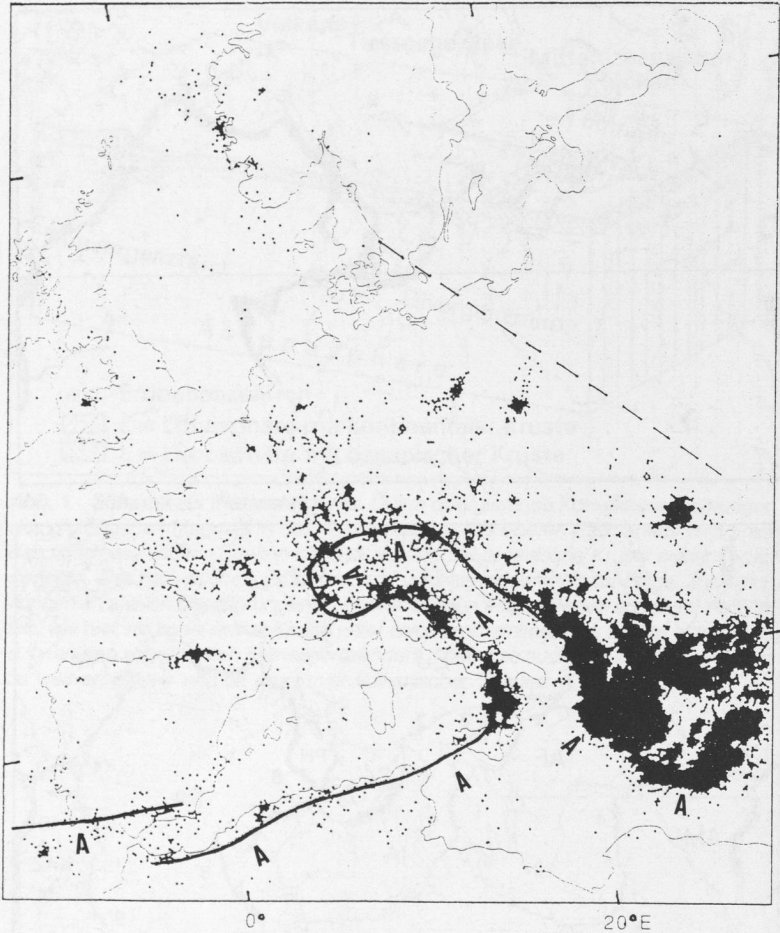


Abb. 3 Regionale Verteilung von Erdbeben in Europa. Eingetragen sind die starken bzw. mittleren Beben seit 1897 bzw. 1960.

Von Süden her stößt die Afrikanische Platte (A) samt ihrem Adria-Sporn mit Geschwindigkeiten um 1 cm/Jahr gegen die Euroasiatische Platte vor. Am Konvergenzrand (Linie) häufen sich deshalb die Interplattenbeben. Die Intraplattenbeben in Europa gehen auf die Aktivierung alt angelegte Strukturen zurück. An der gestrichelten sogenannten Tornquistischen Linie grenzt nach Nordosten ein praktisch aseismisches Gebiet an. Im griechisch-türkischen Raum liegt teilweise ein Mosaik von Kleinplatten vor, die sich in komplizierter Weise bewegen.

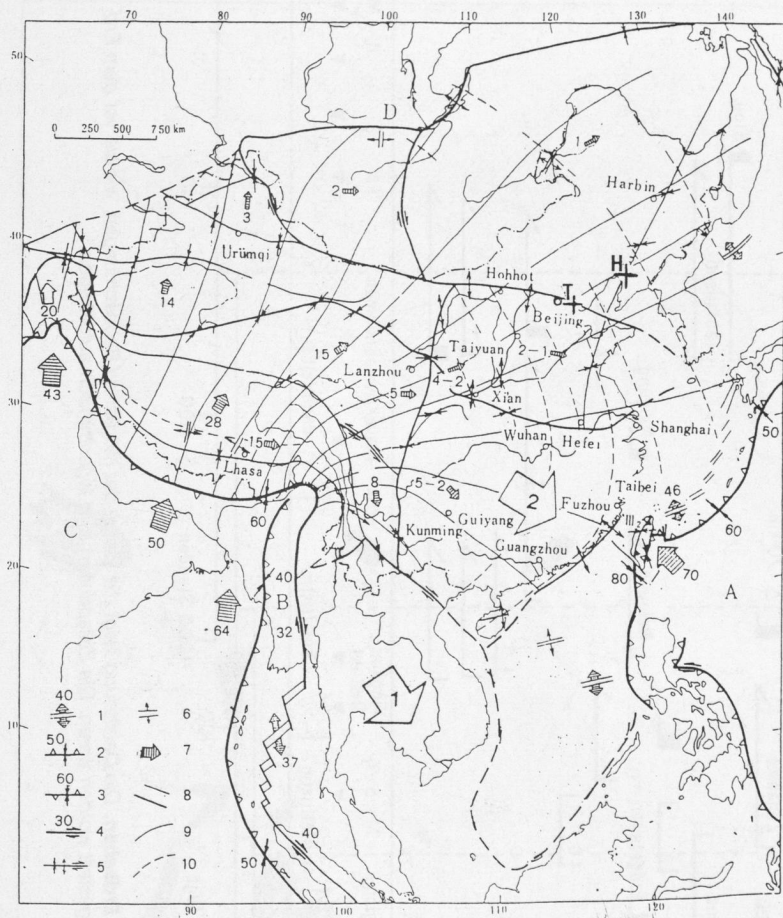
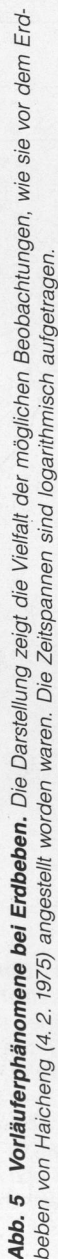


Abb. 4 Stressfeld von China und angrenzenden Gebieten. China ist ein Teil der Euroasiatischen Platte (D). Sie wird durch das Andrängen der Indischen Platte von Südwesten (C) und der Philippinischen aus Südosten (A) in die Zange genommen. Eine Birmesische Platte (B) ist zwischengeschaltet. Die Pfeile (7) geben den Vorschub in mm/Jahr an. Dadurch zerbricht das Gebiet in Schollen, deren Grenzen (8) verschiedenen Charakter haben (1 - 6). Die Richtungen der jeweils maximalen Kompression (9) stehen senkrecht auf denen der maximalen Dehnung (10). Die Großpfeile 1 bzw. 2 geben die Transportrichtungen seit 35 bzw. 15 Millionen Jahren an. Die Kreuzsignaturen T und H nordöstlich Beijing (Peking) bezeichnen die im Text erwähnten Beben von Haicheng (1975) und Tangshan (1976).



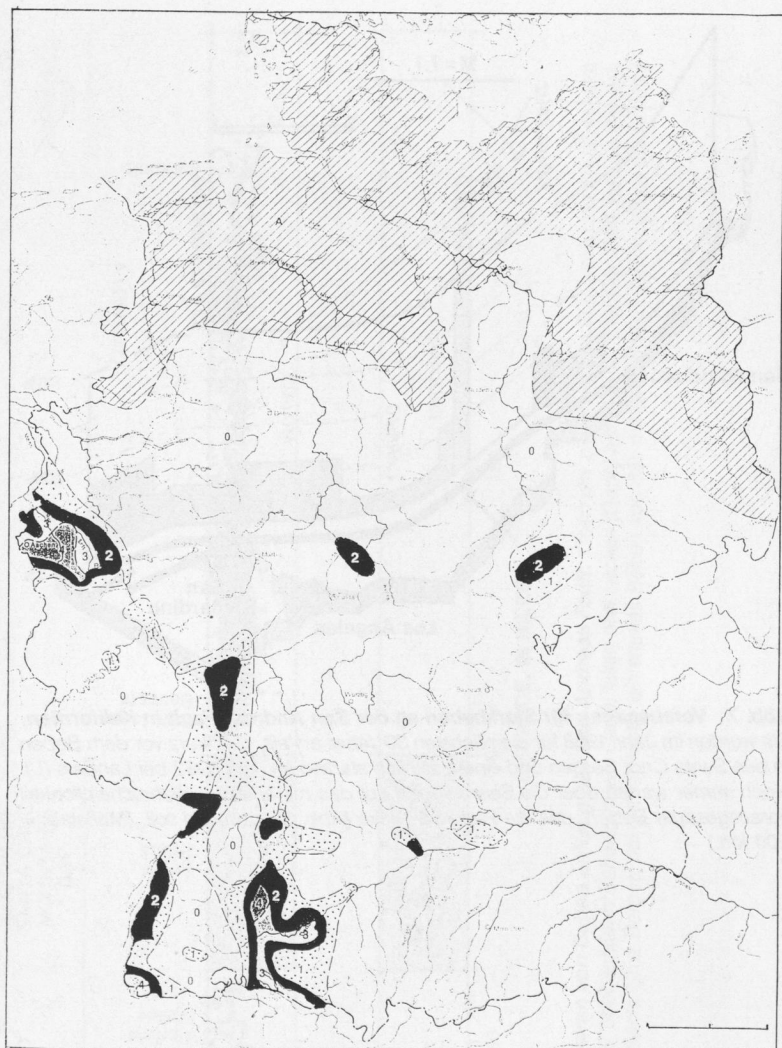


Abb. 6 Seismische Zonierungskarte für die Bundesrepublik Deutschland.

Das schraffierte Gebiet war bisher praktisch bebenfrei. In der Zone 0 kamen nur Beben mit einer Intensität von weniger als 6 vor, in den Zonen 1 - 4 jeweils mit Intensitäten von maximal 6,5 / 7 / 7,5 und 8. (Nach DIN 4149 von 1981; Intensitäten werden aber im allgemeinen mit römischen Ziffern angegeben, damit man sie nicht mit den Magnituden der Richterskala verwechselt.) Maßstab = 100 km.

Diese Zonierung ist die Grundlage für Technische Baubestimmungen. In sie sind auch zusätzliche Auflagen für Bauwerke von besonderer öffentlicher Bedeutung eingearbeitet.

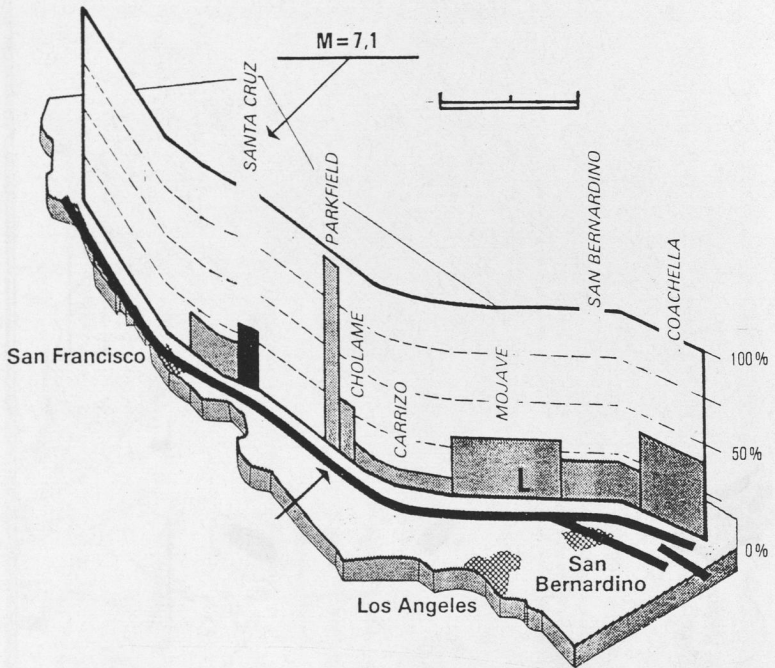


Abb. 7 Voraussagen für Starkbeben an der San Andreas Fault in Kalifornien. Sie wurden im Jahr 1988 für die nächsten 30 Jahre erstellt, d. h. kurz vor dem Beben in den Santa Cruz Bergen und einem ähnlich starken im Jahr 1992 bei Landers (L). Noch immer warten aber die Seismologen auf das mit höchster Wahrscheinlichkeit vorausgesagte Beben, das die Parkfield-Lücke (Abb. 8) schließen soll. (Maßstab = 200 km.)

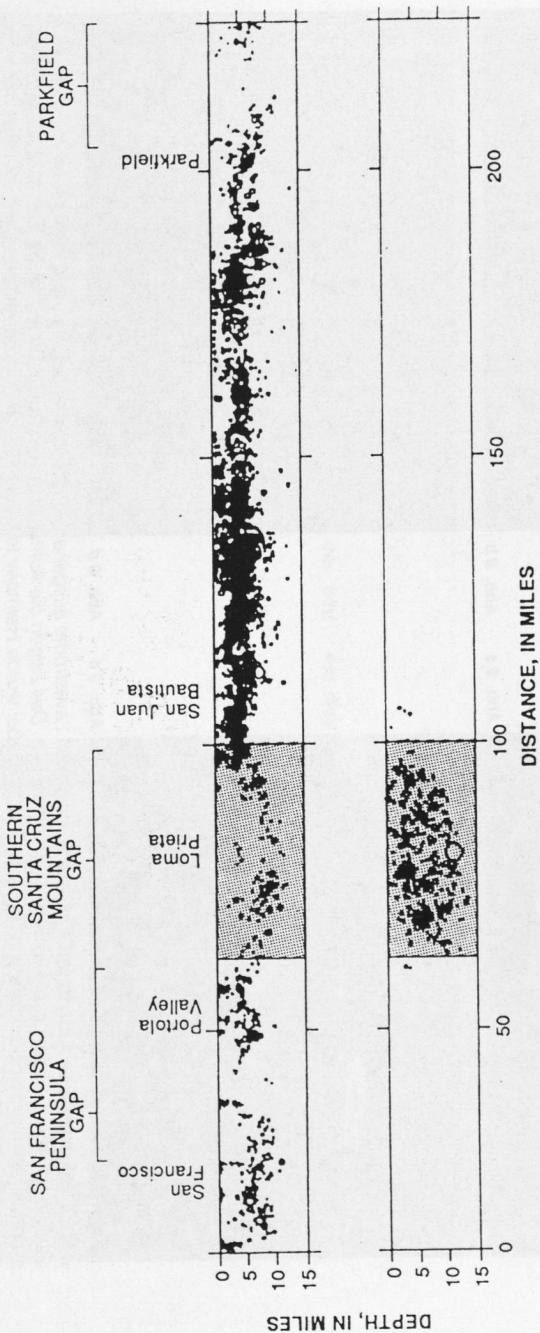


Abb. 8 Profil mit Hypozentren von Beben entlang der San Andreas Fault. Oben die zwischen San Francisco und Parkfield vom Januar 1969 bis August 1989 beobachteten Bebenzentren. Dabei fallen drei Lücken (Gaps) auf. Am 17. Oktober 1989 kam im Bereich der mittleren Lücke, in den Santa Cruz Bergen bei Loma Prieta, ein starkes Beben vor, das mit seinen Nachbeben diese Lücke füllte (unten).



Abb. 9 a



Abb. 9 b



Abb. 9 c



Abb. 9 d

Abb. 9 Vulkanische Aktivitäten I. Vulkane, von denen Lavaströme ausgehen, sind berechenbarer als solche mit explosiver Tätigkeit. Sie können aber trotzdem schwere Schäden verursachen. Das zeigen die Aufnahmen vom Ausbruch am 26. Januar 1972 auf den Westmännerinseln vor der Südküste von Island (a und b). Dabei wurde Heimaey teilweise zerstört. Die basaltische Lava erreichte auch das Meer, was Dampf Wolken anzeigte. Lavaströme können am Ätna vom zentralen Krater (c) oder von parasitären Ergußzentren auf den Flanken austreten (d, im Valle delle Bove, vgl. Abb. 12, Signatur vb).



Abb. 10a Abb. 10b



Abb. 10c Abb. 10d



Abb. 10 Vulkanische Aktivitäten II. Bei explosivem Vulkanismus sind die Glutwolken besonders gefährlich, eine Mischung aus heißen Gasen und zum Teil noch flüssigen Ascheteilen und sonstigem Auswurfmaterial. a) Eruption des Unzen-Vulkans auf der Insel Kyushu/ Japan. (Mai 1991). b) Ablagerungen aus einer Glutwolke am Kamagatake-Vulkan auf der Insel Hokkaido/Japan. Das chaotische Material über dem schwarzen Band ist über 20 m mächtig und wurde in einem einzigen Tage aufgebracht. c) Mehrere Monitore beobachten laufend das Geschehen im Krater des Aso-Vulkans / Kyushu. Dies ist ein Teil eines zentralen Warnsystems. d) Vulkanische Aschenlagen können mit verschiedenen Methoden datiert werden, ein wichtiges Hilfsmittel, um die zeitliche Abfolge von Ausbrüchen auf eventuelle Periodizitäten hin zu untersuchen. Der rotbraune Bodenhorizont in der Nähe von Tomakomai/Hokkaido ist zum Beispiel rund 8000 Jahre alt.

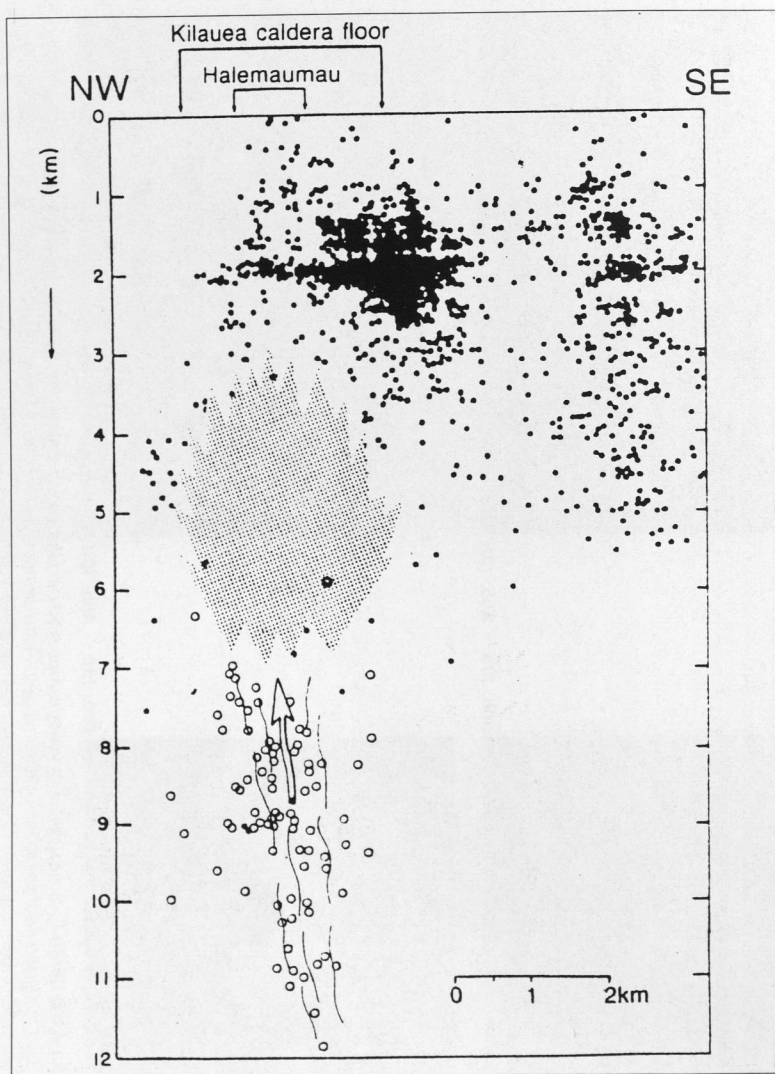


Abb. 11 Querschnitt des Kilauea-Vulkans mit dem Lavasee Halemaumau mit Bebenherden. Die Herde fehlen im punktierten Bereich, was auf die Lage der mit Glutfluß gefüllten Magmakammer in 4 – 6 km Tiefe hinweist. Hochfrequente Flachbeben (Punkte) über der Kammer gehen auf das Zerbrechen des spröden Dachs zurück. Langperiodische Beben (Kreise) verraten den Weg des aus dem Erdmantel aufsteigenden Magmas. Die Abfolge dieser verschiedenartigen Beben kann als Warnung vor einem bevorstehenden Ausbruch dienen.

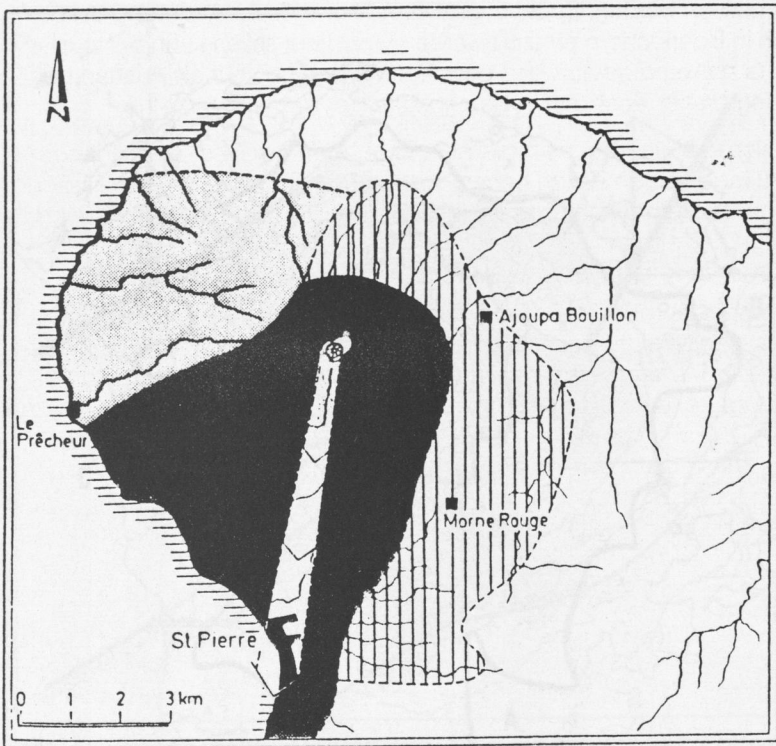


Abb. 12 Risikokarte für Vulkane. Sie sind im Prinzip leichter zu erstellen als solche für Erdbeben. Lava- und Schlammströme, aber auch die Glutwolken bedrohen vor allem Talungen, während Aschenfall durch Wind gleichmäßiger verteilt wird. Die Bahn (weiß), die die für die Stadt Saint Pierre auf der Karibikinsel Martinique tödliche Glutwolke am 6. Mai 1902 genommen hat, ist sehr eng, doch war das Schadensgebiet erheblich größer. (Schwarz = am 8. Mai verwüstete Zone, schraffiert = beim Ausbruch vom 30. August verwüstete Zone, grau = durch Aschen im Nordosten verschüttetes Gebiet.

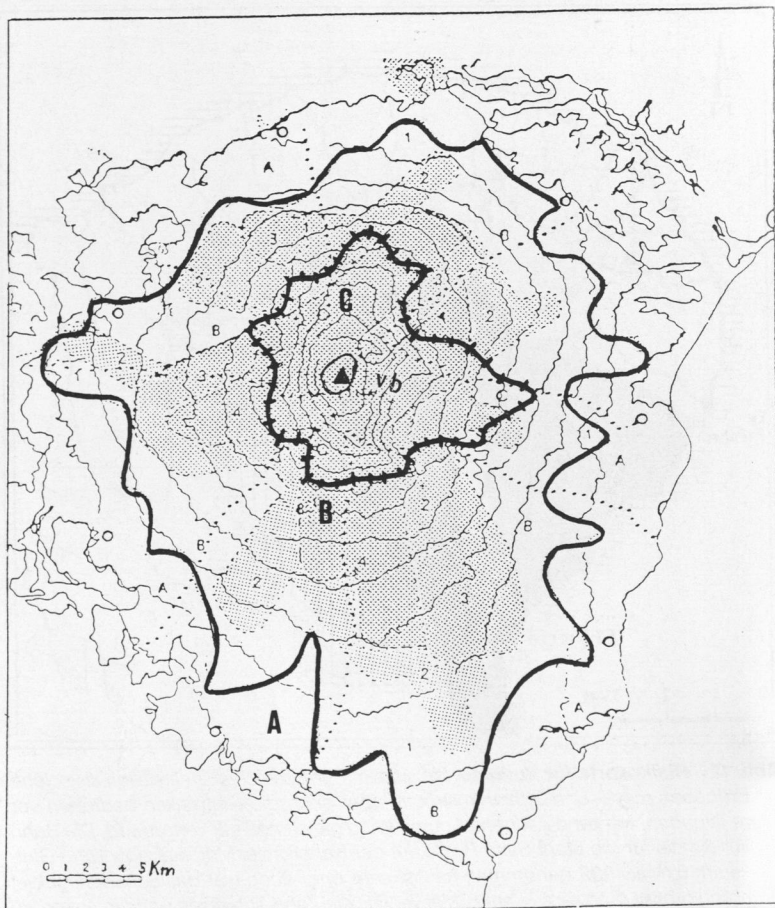


Abb. 13 Risikokarte für den Ätna. Mit steigender Wahrscheinlichkeit ist zum zentralen Krater hin (Dreieck) mit Lavaströmen zu rechnen. Dies zeigt eine Zonierung von A über B (Dicke Linie) nach C (Dicke Linie mit Querbalken). Punktiert sind Gebiete mit potentiellen parasitären Ausbrüchen eingetragen, gleichfalls mit steigender Wahrscheinlichkeit, von 1 - 4 (vb = Valle delle Bove, in das man auf Abb. 9 d hinunterblickt.)

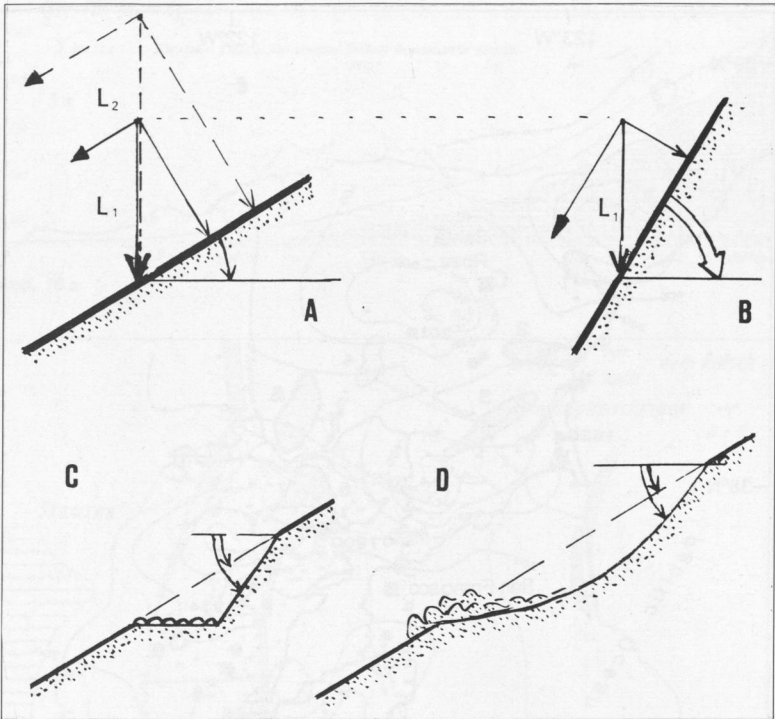


Abb. 14 Schema von Hang-Instabilitäten. A) Ein sich im Gleichgewicht befindlicher Hang fängt die hangabwärts gerichtete Komponente der Last L_1 durch die innere Reibung seines Bodens/Gesteins auf. Wird die Auflast erhöht (L_2), so wird das Gleichgewicht gestört. Dabei kann der Hang ins Rutschen kommen. Wenn diese erhöhte Auflast durch Wasser zustandekommt, das zudem in den Boden eindringt und dadurch die innere Reibung herabsetzt, wird die Gefahr erhöht. Wasser ist daher die größte Bedrohung der Hangstabilität. B) Steilere Hänge führen bei gleicher Auflast L_1 zu einer erhöhten Hangab-Komponente. Versteilung kommt beim Bau von Straßeneinschnitten (C), durch Erosion an Flußufern und an Küsten oder im Abrißgebiet von Hangrutschungen vor, die sich deshalb oft hangaufwärts fressen (D).

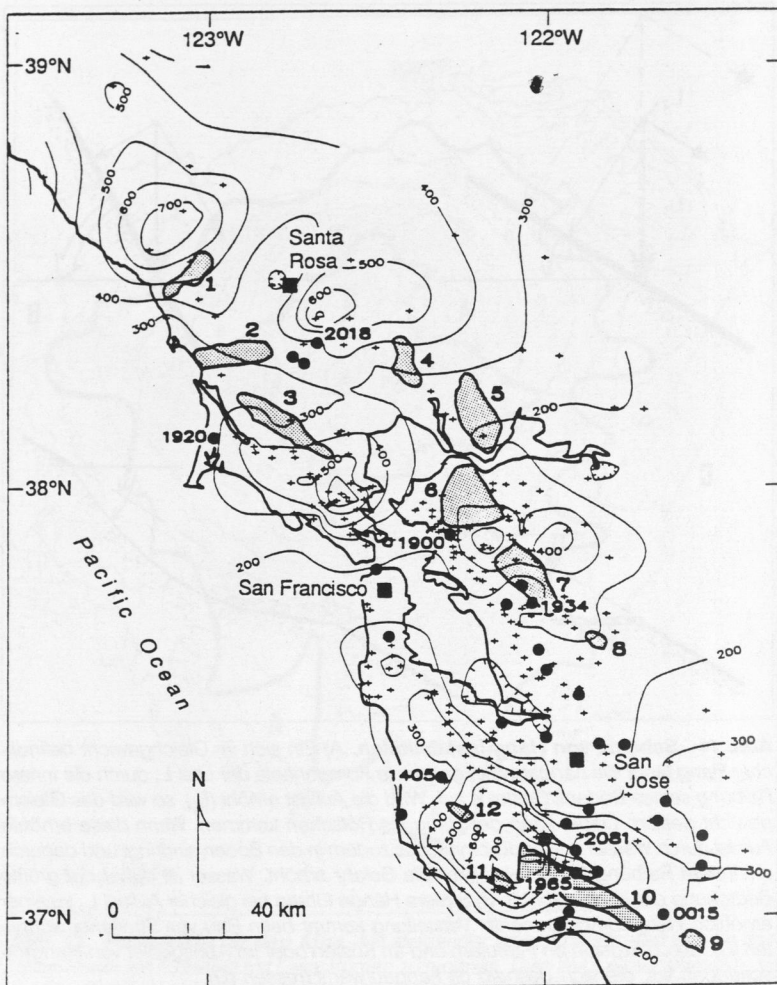


Abb. 15 Vorwarnung bei Hangrutschen. Um San Franzisko kommen in den grau angelegten Gebieten (1 - 12) nach heftigen Regengüssen betont Hangrutsche vor. Regenmesser eines ALERT-Systems (Kreise) geben kontinuierlich Daten an eine Zentrale. Zusätzliche Geräte (Kreuze) erlauben eine Verdichtung und die laufende Konstruktion von Karten mit Isohyeten, hier in mm von den Niederschlägen vom 12. bis 21. Februar 1986. Wenn dabei Grenzwerte, die lange Erfahrung erbracht haben, überschritten werden, kann Alarm ausgelöst werden.

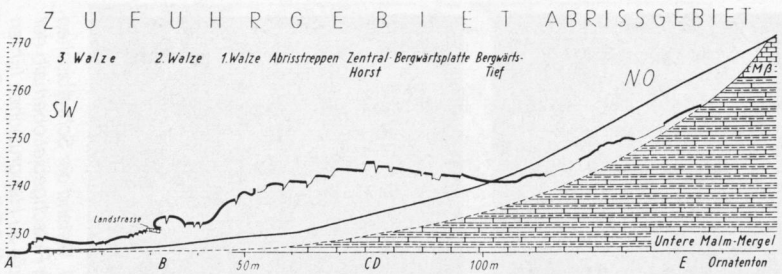


Abb. 16 a

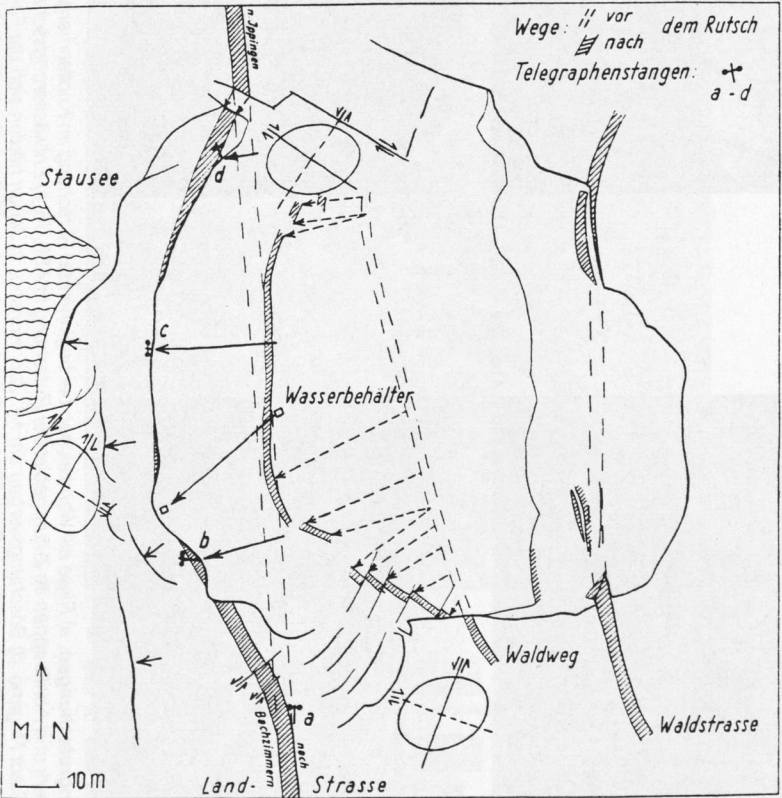


Abb. 16 b

Abb. 16 Modellhafter Hangrutsch in der Schwäbischen Alb. a) Profil vor und nach der Rutschung mit morphologischen Einheiten. b) Dynamik der Massenbewegungen (Pfeile) und Deformation (Ellipsen).



Abb. 17a

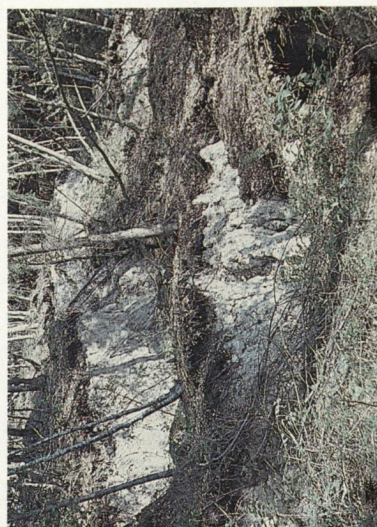


Abb. 17b



Abb. 17c



Abb. 17d

Abb. 17 Hangrutschungen. a) Risse als Warnzeichen bei beginnender Rutschung im Knollenmergel (Trias) Vorland der Schwäbischen Alb. b) Haufwerk und Abrüsttreppen im Zufuhrgebiet der Rutschung in Abb. 16. c) Entwässerungsschächte im Rutschgebiet oberhalb der japanischen Stadt Nagano. d) Böschungsverbau am Mt. Zao, Honshu. In Japan häufen sich die Faktoren, die zu Hangrutschungen führen können: Vielfach steiles Relief; weiches, oft quellfähiges Gestein oder lockere Vulkantuffe; heftigste Regenfälle bei Taifunen und gelegentlich Erdbeben als Auslöser.

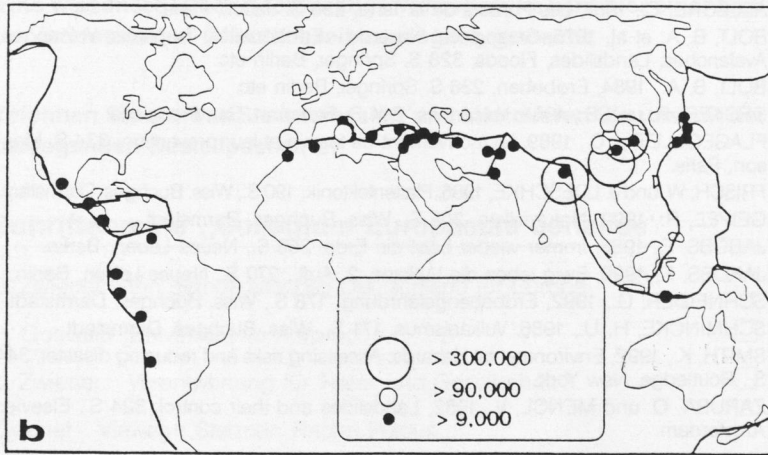
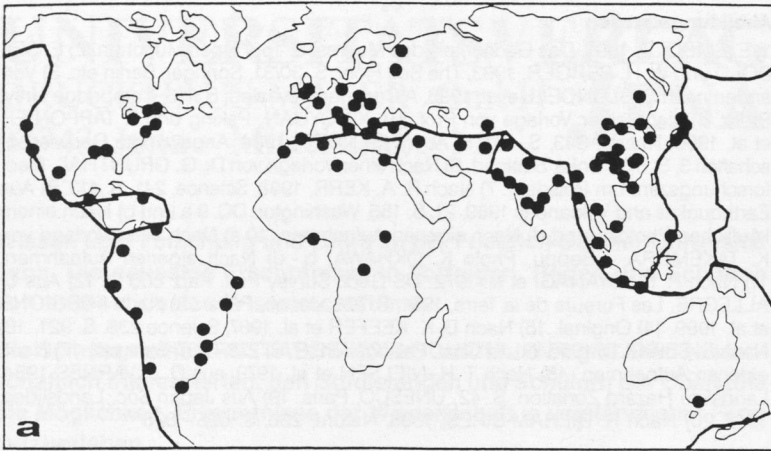


Abb. 20 Erdbeben und zukünftige Agglomerationsgebiete. a) Verbreitung von Großstädten mit einer bis zum Jahr 2000 zu erwartenden Einwohnerzahl von mehr als 2 Millionen. Die dicken Linien sind Plattenränder. b) Zahl der Toten durch Erdbeben in den letzten 1000 Jahren. Der Zusammenhang mit den Plattengrenzen und die daraus erwachsende Drohung für die Städte der Abb. 20 a ist offenkundig.

Abbildungsquellen

1) E. SEIBOLD, 1991, Das Gedächtnis des Meeres, S. 163, Piper, München. 2) E. SEIBOLD und W. H. BERGER, 1993, The Sea Floor, S. 30/31, Springer, Berlin etc. 3) Verändert nach O. BLUNDELL et al, 1993, A Continent revealed, S. 113, Cambridge Univ. Press. 4) Nach einer Vorlage von Prof. Ma XINGYUAN, Peking und P. TAPPONIER et al, 1990, Nature, 343, S. 431. 5) Aus F. BENDER, 1984, Angewandte Geowissenschaften 3, S. 572, Enke, Stuttgart. 6) Nach einer Vorlage von Dr. G. GRÜNTAL, Geoforschungszentrum Potsdam. 7) Nach R. A. KERR, 1988, Science, 241, S. 413. 8) Aus Earthquakes and Volcanoes 1989, 21, S. 185, Washington DC. 9 a und b) Nach einem käuflichen Photo, c und d) Nach eigenen Aufnahmen. 10 a) Nach einer Vorlage von K. TAKEMURA - Beppu, Photo K. OKHAWA, b - d) Nach eigenen Aufnahmen. 11) Nach P. Y. KOYANAGI et al. 1972. US Geol. Survey Prof. Pap. 800 D. 12) Aus C. ALLEGRE, Les Fureurs de la Terre, 1991, S. 286, Jacob, Paris. 13) Nach FORGIONE et al. 1989. 14) Original. 15) Nach D. K. KEEFER et al, 1987, Science 238. S. 921. 16) Nach E. SEIBOLD, 1955, N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 7, S. 278 - 297, Stuttgart. 17) Nach eigenen Aufnahmen. 18) Nach T. H. NIELSEN et al, 1979, aus D. J. VARNES 1984, Landslide Hazard Zonation, S. 42, UNESCO, Paris. 19) Aus Japan Soc. Landslides, 1977. 20) Nach R. BILHAM-CIRES, 1988, Nature, 236, S. 625 - 626

Auswahl einführender Literatur

ALLEGRE, C., 1967, Les Fureurs de la Terre, 250 S. Jacob, Paris.
BOLT, B. A. et al, 1975, Geological Hazards - Earthquakes, Tsunamis, Volcanoes, Avalanches, Landslides, Floods, 328 S. Springer, Berlin etc.
BOLT, B. A., 1984, Erdbeben, 236 S. Springer, Berlin etc.
DECKER, R. und B., 1981, Volcanoes, 244 S. Freeman, San Francisco.
FLAGEOLLET, J. C., 1989, Le mouvement de terrain et leur prevention, 334 S. Masson, Paris.
FRISCH, W. und J. LOESCHKE, 1986, Plattentektonik, 190 S., Wiss. Buchges. Darmstadt.
GEIPEL, R., 1992, Naturrisiken, 305 S., Wiss. Buchges. Darmstadt.
JABOBS, F., 1985, Immer wieder bebt die Erde, 258 S., Neues Leben, Berlin.
JAKOBS, F., 1990, Ewig leben die Vulkane, 2. Aufl., 270 S., Neues Leben, Berlin.
SCHNEIDER, G., 1992, Erdbebengefährdung, 178 S., Wiss. Buchges. Darmstadt.
SCHMINCKE, H. U., 1986, Vulkanismus, 171 S., Wiss. Buchges. Darmstadt.
SMITH, K., 1992, Environmental Hazards: Assessing risks and reducing disaster, 344 S., Routledge, New York.
ZARUBA, Q. und MENCL, V., 1982, Landslides and their control, 324 S., Elsevier, Amsterdam.

Nachbemerkung

Der Vortrag »Naturkatastrophen und ihre Vorhersage« wurde am 4. Mai 1994 in Jena ohne Manuskript gehalten. Die Grundgedanken sind in einem Beitrag zur Jubiläumsschrift der Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz (Steiner, Wiesbaden, 1989, S. 131 - 142) enthalten. Er wurde hier, vor allem durch zahlreiche Abbildungen ergänzt.

Anschrift des Autors

Prof. Dr. Eugen Seibold
(emeritierter Professor für Geologie
und Paläontologie der Universität Kiel)
Richard-Wagner-Straße 56
79104 Freiburg